

PCT/EP U U / U U 4 Z U  
**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

EU



REC'D	29 FEB 2000
WIPO	PCT

EP00/420

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

**Bescheinigung**

Die Deutsche Telekom AG in Bonn/Deutschland hat eine Patentanmeldung unter der Bezeichnung

"Verfahren zur Überwachung der Übertragungsqualität eines optischen Übertragungssystems, insbesondere eines optischen Wellenlängen-multiplexnetzes"

am 12. Februar 1999 beim Deutschen Patent- und Markenamt eingereicht.

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

Die Anmeldung hat im Deutschen Patent- und Markenamt vorläufig die Symbole H 04 J und H 04 B der Internationalen Patentklassifikation erhalten.

München, den 4. Oktober 1999  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

**Der Präsident**

Im Auftrag

Joost



Aktenzeichen: 199 05 814.8

Patentansprüche

1. Verfahren zur Überwachung der Übertragungsqualität eines optischen Übertragungssystems, insbesondere eines optischen Wellenlängenmultiplexnetzes, dadurch gekennzeichnet,  
daß ein Amplitudenhistogramm eines über das Übertragungssystem übertragenen optischen Signals (Übertragungssignal) aufgezeichnet und mittels eines Neuronalen Netzes nach Bitfehlerraten und/oder Störungsursachen klassifiziert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
daß aus dem Amplitudenhistogramm Eingabedaten gewonnen werden, die einem neuronalen Netz zugeführt werden, welches aus den Eingabedaten Ausgabewerte erzeugt, und die Ausgabewerte Schätzwerten der Bitfehlerrate des Signals zugeordnet werden.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet,  
daß die Ausgabewerte Störungsursachen des Signals zugeordnet sind, wie z. B. Rauschen, Nebensprechen (Cross-talk), Signalverzerrungen.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet,  
daß das Amplitudenhistogramm vor der Präsentation an das neuronale Netz vorverarbeitet wird, indem es normiert und daraus eine vorbestimmte Anzahl von Daten ausgewählt wird,  
die den Eingangsneuronen des neuronalen Netzes zugeführt werden, wobei die Anzahl der ausgewählten Daten der Anzahl der Eingangsneuronen entspricht.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet,

daß das Übertragungssignal nach elektro-optische Umwandlung asynchron abgetastet wird und die Abtastwerte in das Amplitudenhistogramm eingehen.

5 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet,

daß die Länge des für das Abtasten des optischen Signals verwendeten Zeitschlitzes derart an die Datenübertragungsrate angepaßt ist, daß auch schnelle  
10 Oszillationen der Amplitude des Übertragungssignals erfaßbar sind und nicht ausgemittelt werden.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet,  
daß die Länge des Zeitschlitzes in der Größenordnung  
15 Picosekunden liegt.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet,

daß das Übertragungssignal im Falle eines  
20 Wellenlängenmultiplexnetzes das über einen optischen Kanal mit einer vorbestimmten Grundwellenlänge übertragene Signal ist.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch  
25 gekennzeichnet,

daß das Neuronale Netz ein Multi-Layer-Perceptron ist, welches mit einer Reihe von Trainingsdatensätzen, deren Ausgabewert bekannt ist, unter Verwendung der Trainingsverfahren Cascade Correlation (CC) oder Resilient  
30 Backpropagation (RProp) trainiert wurde.

Verfahren zur Überwachung der Übertragungsqualität eines optischen Übertragungssystems, insbesondere eines optischen Wellenlängenmultiplexnetzes

5

Technisches Gebiet:

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung der Übertragungsqualität eines optischen Übertragungssystems, insbesondere eines optischen Wellenlängenmultiplexnetzes.

10

Stand der Technik:

Bei jedem optischen Übertragungssystem, insbesondere aber bei optischen Wellenlängenmultiplex-Systemen (WDM-Systemen), stellt sich das Problem der Überwachung der Übertragungsqualität, um eine bestimmte Dienstqualität (Quality of Service - QoS) zu garantieren und langsame Systemverschlechterungen (Degradation) aufzuspüren zu können. Transparente optische Wellenlängenmultiplex-Systeme werden zunehmend eingesetzt, da sie in erheblichem Maße die

20 Kapazität und Flexibilität der heutigen Informations- und Telekommunikationsnetze erhöhen. Über eine optische Lichtleitfaser wird dabei nicht nur ein optisches Signal einer einzigen Wellenlänge übertragen, sondern durch die Verwendung einer Mehrzahl von Wellenlängen werden mehrere  
25 optische Kanäle zur Verfügung gestellt, die voneinander unabhängig sind. Bei optischen Wellenlängenmultiplexnetzen handelt es sich um transparente, analoge Übertragungssysteme, die in der Regel digitale Nutzsignale übertragen sollen und damit die Realisierung verschiedenster  
30 Telekommunikationsdienste ermöglichen. Eine der wesentlichen Vorteile der Transparenz ist es, daß die Datenrate und das Format für jeden optischen Kanal eines Wellenlängenmultiplex-Systems unabhängig voneinander gewählt werden kann. Diese dazugewonnene Flexibilität kommt den  
35 Anforderungen der Kunden entgegen und ermöglicht es, neue Dienste zu integrieren. Auf der anderen Seite ist das Garantieren einer bestimmten Dienstqualität und das

Aufspüren von langsamen Systemverschlechterungen gerade wegen des nicht festgelegten Datenformats ein ernstes Problem in transparenten Netzen.

5 Ein wesentlicher Parameter für die Beurteilung der Dienstequalität eines digitalen Signals bei der Übertragung über ein optisches Netz ist die Bitfehlerrate (BER). Üblicherweise werden zur Abschätzung der BER des transportierten Nutzsignals bestimmte Overhead-Bytes des  
10 gewählten Übertragungsformats (z. B. SDH, ATM, etc.) ausgewertet. Dieses Verfahren kann in transparenten optischen Systemen, bei denen das Datenformat a priori nicht festgelegt ist, jedoch nicht verwendet werden. Darüber hinaus lässt die Auswertung der BER keine Rückschlüsse auf die Ursache einer eventuell auftretenden Signaldegradation zu. Wird zur Beurteilung der Signalgüte dagegen lediglich das Augendiagramm des empfangenen Datensignals ausgewertet, so benötigt auch dieses Verfahren den Bit-Takt des auszuwertenden Signals. Die elektronische Gewinnung des Bit-  
20 Taktes ist mit vertretbarem Aufwand nur für feste, dem auswertenden System bekannte Datenraten möglich. Diese Randbedingung schränkt die Transparenz von optischen Transportnetzen (WDM-Netze) in unakzeptabler Weise ein.

25 Technische Aufgabe:

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Überwachung der Übertragungsqualität eines optischen Übertragungssystems anzugeben, welches insbesondere zur Kontrolle eines transparenten Übertragungssystems, z.B. eines WDM-Netzes, geeignet ist, bei welchem die Datenrate und das Übertragungsformat flexibel und nicht a priori festgelegt ist.

Offenbarung der Erfindung:

35 Die Aufgabe wird bei einem Verfahren zur Überwachung der Übertragungsqualität eines optischen Übertragungssystems, insbesondere eines optischen Wellenlängenmultiplexnetzes,

dadurch gelöst, daß ein Amplitudenhistogramm eines über das Übertragungssystem übertragenen optischen Signals (Übertragungssignal) aufgezeichnet und mittels eines Neuronalen Netzes nach Bitfehlerraten und/oder 5 Störungsursachen klassifiziert wird.

Vorteilhafte Weiterbildungen des Verfahrens sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

- 10 Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht es, die Dienstequalität (charakterisiert durch die Bitfehlerrate BER) eines transparenten digitalen Nutzsignals, durch die Erfassung von analogen Werten unabhängig von der Datenrate zu beurteilen und die Ursache (z. B. Rauschen, Dispersion, 15 Crosstalk...) und Stärke der Systemverschlechterung zu erfassen. Im Gegensatz zu bekannten Verfahren, welche die Bitfehlerrate auf der digitalen Ebene ermitteln und somit ein analoges Übertragungssystem mit digitalen Parametern beurteilen, verwendet das erfindungsgemäße Verfahren ein 20 wesentlich unmittelbareres Beurteilungskriterium, nämlich die Amplitudenverteilung des analogen optischen Übertragungssignals. Aus dieser Amplitudenverteilung wird die Information über den Zustand des Übertragungssystems gewonnen, indem sie mittels eines Neuronalen Netzes 25 bestimmten digitalen Parametern, nämlich bestimmten Werten der BER, zugeordnet wird. Durch Auswertung eines Amplitudenhistogramms kann zudem auch auf die Art der Störung rückgeschlossen werden, die zu einer bestimmten BER führt. Diese Information steckt im wesentlichen in der 30 Amplitudenverteilung und geht bei einer Auswertung auf digitaler Ebene verloren. Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht daher auch den Rückschluß auf die Ursache der Störung bzw. Degradation und damit ein gezieltes Eingreifen in das Übertragungssystems zur Behebung dieser Einflüsse. 35 Des weiteren kann vorteilhaft auf die Kenntnis der Übertragungsrate bzw. des Übertragungsformates verzichtet werden.

Das wesentliche Prinzip der Erfindung besteht darin, mit Hilfe von lernenden, neuronalen Netzen und analogen Signalwerten in Form von Amplitudenhistogrammen als 5 Eingangs- oder Meßdaten, die BER zu beurteilen und die Ursache einer Signalverschlechterung aufzuzeigen. Dabei arbeitet das Verfahren wie folgt: Das Übertragungssignal wird mit einer optischen Erfassungseinrichtung aufgenommen, vorzugsweise einer Photodiode mit hoher Bandbreite. Das 10 elektrische Ausgangssignal der Erfassungseinrichtung wird asynchron abgetastet. Hierzu ist keine Taktrückgewinnung notwendig. Wichtig für die Abtastung ist ein willkürlich gewählter Zeitschlitz und die Sammlung einer hohen Anzahl von 15 Abtastwerten, die alle relevanten statistischen Eigenschaften des Signals beinhalten. Auch ist es wichtig, daß die Zeitschlüsse der Abtasteinheiten kurz genug sind, um auch schnelle, oszillatorische Störungen, die z. B. durch Inband-Nebensprechen (Cross-Talk) verursacht werden, zu erfassen. Das Amplitudenhistogramm kann beispielsweise mit 20 einem Oszilloskop aufgenommen werden, welches das Ausgangssignal der Erfassungseinrichtung zeitlich gerastert abfragt.

Die Daten des Amplitudenhistogramms werden normiert, um sie von absoluten Amplitudenwerten und der gewählten Skalierung 25 des Histogramms unabhängig zu machen. Anschließend werden die aufgenommenen Amplitudenhistogrammdaten geeignet vorverarbeitet, um sie dem neuronalen Netz präsentieren zu können. Dazu wird dem Amplitudenhistogramm eine bestimmte Anzahl von y-Werten entnommen, die an festgelegten x-Werten des 30 Histogrammdiagramms (vgl. Figur 2) ermittelt werden. Anschließend werden die entnommenen Werte gleichmäßig so angehoben, so dass der höchste Wert < 1 ist. Nun werden die Werte den Neuronen der Eingabeschicht präsentiert.

35 Die Anzahl der Werte entspricht der Anzahl der Eingangsneuronen des neuronalen Netzes. Das neuronale Netz propagiert die angelegten Werte durch das Netz, ordnet die

Eingabedaten einer dazugehörigen Bitfehlerratenklasse zu und zeigt als weiteren Ausgabewert die Art der Störung an. Die Funktion und Arbeitsweise von neuronalen Netzen ist in der Literatur hinlänglich beschrieben. Sie werden in der Praxis 5 auf einer Datenverarbeitungseinrichtung durch ein Computerprogramm realisiert.

Damit die eingesetzten neuronalen Netze die ihnen gestellte Aufgaben lösen können, ist es notwendig sie vorher zu 10 trainieren. Dazu werden verschiedene Trainingsmuster ausgewählt und zu einer Trainingsmusterdatei zusammengefügt. Die Trainingsmuster sind beispielsweise berechnete oder gemessene und vorverarbeitete Amplitudenhistogramme, die verschiedenen bekannten Bitfehlerratenklassen und 15 Störungsarten entsprechen.

Bei neuronalen Netzen handelt es sich um lernende konnektionistische Systeme. Sie bestehen in der Regel aus einer Schicht Neuronen, die die Eingabeschicht bilden 20 (Eingangsneuronen), einer oder mehrerer versteckter Schichten (Hidden-Neuronen) und einer Schicht Neuronen, die die Ausgabeschicht bilden. Jedes Neuron hat eine bestimmte Übertragungsfunktion. Zwischen den Neuronen der verschiedenen Schichten bestehen Verbindungen mit 25 verschiedenen Gewichtungen (positiv, null oder negativ). Der Eingabewert eines Neurons ergibt sich durch die Gesamtheit der gewichteten Ausgabewerte der Neuronen der vorherigen Schicht.

30 Bei dem Training werden die einzelnen Gewichte der Verbindungen zwischen den Neuronen so eingestellt, daß zu der Eingabe die richtige Ausgabe erscheint. Die Funktion und Arbeitsweise der verschiedenen Trainingsalgorithmen für neuronale Netze sind prinzipiell bekannt. Vor dem Training 35 und dem Einsatz des neuronalen Netzes wird die neuronale Netztopologie und das zu verwendende Trainingsverfahren ausgewählt. Als besonders geeignet hat sich als neuronales

Netz ein Multi-Layer-Perceptron erwiesen, welches mit einer Reihe von Trainingsdatensätzen unter Verwendung der Trainingsverfahren Cascade Correlation (CC) oder Resilient Backpropagation (RProp) trainiert wurde.

5

Der Vorteil des Verfahrens ist es, daß keine mathematischen Algorithmen entwickelt werden müssen, um Aussagen über die Art einer auftretenden Störung und den Grad der Signaldegradation zu machen. Sämtliche Signale sind ohne Kenntnis des Übertragungsformats und/oder des Taktes analysierbar; daher wird die Transparenz von optischen Übertragungssystemen wie WDM-Netzen optimal unterstützt und nicht eingeschränkt. Da es sich bei den neuronalen Netzen um massiv parallele Strukturen handelt, steht ein Ergebnis sehr viel schneller zur Verfügung als ein durch einen mathematischen Algorithmus erzeugtes Ergebnis. Ein weiterer Vorteil des Verfahrens ist, daß sich auch bei der Beurteilung von unbekannten, nicht vorhergesehenen Eingabemustern, sinnvolle Ausgabewerte ergeben.

15

20

Kurzbeschreibung der Zeichnung:

Figur 1 Ein Blockschaltbild eines erfindungsgemäßen Verfahrens;

Figur 2 ein Amplitudenhistogramm eines optischen Übertragungssignals;

Figur 3 die Topologie eines neuronalen Netzes in Form eines Multi-Layer-Perceptrons.

25

30

35

Figur 1 zeigt ein Blockschaltbild eines erfindungsgemäßen Verfahrens. Aus einem optischen WDM-Signal, welches sich aus einer Vielzahl von Wellenlängenkomponenten zusammensetzen kann, wird mit Hilfe eines optischen Filters ein optischer Kanal ausgewählt. Damit fällt nur Licht in einem bestimmten, vom Filter transmittierten Wellenlängenbereich auf eine opto-elektronische Wandlereinrichtung. Die Wandlereinrichtung ist ein Photodetektor, vorzugsweise eine Photodiode mit hoher Bandbreite, so daß auch schnelle

Änderungen des optischen Signals erfaßbar sind. Beispielsweise wird eine Photodiode mit 20 Ghz Empfangsbandbreite benutzt. Die Wandlereinrichtung gibt ein elektrisches Ausgangssignal ab, dessen zeitlicher Verlauf im wesentlichen dem des optischen Übertragungssignals der detektierten Wellenlänge entspricht. Dieses elektronische Ausgangssignal wird asynchron abgetastet, wobei die Signalhöhe zu willkürlichen Zeitpunkten, jeweils integriert über einen Zeitschlitz vorbestimmter Länge, gemessen wird.

Um ein Ausmitten von Signalschwankungen innerhalb des Zeitschlitzes zu verhindern und somit auch schnelle Signalschwankungen erfassen zu können, werden bei Datenraten im Bereich von Gbit/s Zeitschlitz in der Größenordnung von Picosekunden verwendet. Um die vollständige Statistik des Übertragungssignals zu erhalten, werden eine Vielzahl solcher Abtastwerte gesammelt, vorzugsweise einige Tausend bis einige Hunderttausend pro Histogramm. Aus den Abtastwerten wird ein Histogramm erstellt, welches die relative Häufigkeit einer bestimmten Signalamplitude bzw. eines bestimmten Abtastwertes angibt. Die Daten werden in eine Histogramm-Datei geschrieben, welche mit einem geeignet trainierten neuronalen Netz ausgewertet wird.

Figur 2 zeigt drei Beispiele für Histogramme, die der Bitfehlerratenklasse BER = 10<sup>-11</sup> zugeordnet sind. In Figur 2 dargestellt ist für drei Übertragungssignal die relative Häufigkeit einer bestimmten Signalamplitude. Die Amplitude ist in willkürlichen Einheiten angegeben.

Zur Anwendung des Verfahrens ist es notwendig, dass vorher die verwendeten neuronalen Netze trainiert werden. Hierzu wurden Trainingsdatensätze, wie im Folgenden beschrieben, erzeugt:

Die drei Histogramme entsprechen extern modulierten digitalen Signalen mit einer Datenrate von 5 GBit/s und einem Non Return to Zero (NRZ) Datenformat. Die digitalen

Daten wurden mit einem Zufallsgenerator der Periodizität  $2^{15}-1$  erzeugt. Das Signal wurde zum einen durch Addieren einer verzögerten und gedämpften Signalkomponente zur Simulation von im Inband-Nebensprechen (crosstalk) gestört. Ein  
5 verrausches Signal (noise) wurde erzeugt, indem ein dämpfendes Element und ein Erbium-Verstärker bei der Signalübertragung verwendet wurde. Ein durch Dispersion gestörtes Signal wurde erzeugt, indem Standard-Lichtleitfasern variabler Länge kaskadiert wurden. Obwohl  
10 diesen drei Störungstypen im dargestellten Beispiel jeweils die gleiche Bitfehlerratenklasse zugeordnet ist, erkennt man anhand der Figur 2 stark unterschiedliche Amplitudenhistogramme, anhand derer erfindungsgemäß durch Musterzuordnung auf die Störungsursache rückgeschlossen werden kann. Die Unterschiede im Verlauf des  
15 Amplitudenhistogramms bei verschiedenen Störungsursachen werden erfindungsgemäß mit einem neuronalen Netz erfaßt und einer bestimmten Bitfehlerratenklasse und einer oder mehrerer Störungsursachen zugeordnet. Dabei ist es auch  
20 möglich, gemischte Störungsursachen zu erkennen.

Um die Auswertung der Histogramme zu automatisieren und sie Bitfehlerraten-Klassen zuzuordnen, werden neuronale Netzwerke verwendet. Ein Beispiel für ein solches neuronales  
25 Netzwerk, welches sich zur Durchführung des Verfahrens als besonders geeignet erweist, ist in Figur 3 dargestellt. Figur 3 zeigt die Topologie eines "Multi-Layer-Perceptron"-neuronalen Netzwerks. Dieses weist ein Eingaberegister von 50 Eingabe-Neuronen auf, die zur Eingabe von 50 Werten aus  
30 dem Histogramm dienen (Eingabe-Vektor). Diese Eingabewerte werden durch das neuronale Netz auf einer Reihe von Ausgabewerten, den Ausgabe-Vektor abgebildet. Die Eingabe-Ausgabe-Relation ist nicht bekannt, sondern muß dem neuronalen Netz antrainiert werden. Sie kann modifiziert  
35 werden, indem die einzelnen Gewichte der Verbindungen zwischen den Neuronen der einzelnen Schichten in einem Trainingsverfahren eingestellt werden. In diesem Fall wurde

das neuronale Netz mit dem "Back-Propagation"-Algorithmus trainiert. Er ist beispielsweise in A. Hiramatsu: Training Techniques for Neural Network Applications in ATM, IEEE Communication Magazine, Oct 1995, p. 58-67 beschrieben.

5

Um gemessene Histogramme zu Bitfehlerratenklassen zuzuordnen, wurden versuchsweise 370 Histogramme aufgezeichnet, die Übertragungssignale mit Bitfehlerraten von  $10^{-12}$  bis  $10^{-5}$  repräsentieren. Die Signaldegradation wurde 10 durch Rauschen, Crosstalk oder Dispersion verursacht. In einer Datenvorverarbeitung wurden 50 Werte aus jedem Histogramm zu einem Eingangsdatensatz für das neuronale Netz zusammengefaßt und als Eingabe für das neuronale Netz verwendet. Ein Teil der Eingangsdatensätze dient als Trainings-Eingabemuster, der Rest als Test-Eingabemuster, um 15 das erfindungsgemäße Verfahren zu validieren. Das neuronale Netz wird mit den Trainingsmustern trainiert, wobei einer der Trainingsalgorithmen "Resilient Backpropagation" (Rprop) oder "Cascade-Correlation" (CC) verwendet wurde. Nach der 20 Trainingsphase wurden die Testmuster verwendet, um festzustellen, ob das neuronale Netz den Test-Histogrammen die korrekte, zuvor experimentell bestimmte Bitfehlerrate zuordnet.

25

Jedes Ausgabeneuron des neuronalen Netzes in Figur 3 repräsentiert eine Bitfehlerratenklasse von  $10^{-5}$  bis  $10^{-12}$ . Die Amplitude des Signals am jeweiligen Ausgabeneuron gibt an, an welchem oder welchen der BER-Klassen das Eingabemuster zuzuordnen ist. In obigem Beispiel konnten die 30 aufgezeichneten Amplitudenhistogramme mit sehr hoher Sicherheit der zuvor bestimmten BER-Klasse zugeordnet werden.

35

Das neuronale Netz wird in einer Weiterbildung des Verfahrens vorzugsweise so trainiert, daß neben der BER-Klasse auch die Störungsart dem Ausgabevektor, d.h. den Einträgen der Ausgabeneuronen, entnommen werden kann. Dazu

sind so viele Ausgabeneuronen vorzusehen, daß der Ausgabevektor die relevanten BER-Klassen sowie die relevanten Störungsarten repräsentiert. Im obigen Beispiel mit 8 BER-Klassen und 3 Störungsarten müßten daher 10  
5 Ausgabeneuronen vorgesehen und das neuronale Netz entsprechend trainiert werden.

#### Gewerbliche Anwendbarkeit:

Die Erfindung läßt sich zur Überwachung der  
10 Übertragungsqualität eines analogen optischen Übertragungssystems, insbesondere eines WDM-Netzes, vorteilhaft gewerblich einsetzen. Neben der Klassifikation der Übertragungsqualität nach bestimmten Bitfehlerratenklassen ermöglicht das erfindungsgemäße Verfahren auch ein Aufspüren der Verschlechterungsursachen. Dadurch wird ein gezieltes Gegensteuern seitens des Netzbetreibers zum Verhindern weiterer Systemdegradation möglich.  
15

**Zusammenfassung:**

Verfahren zur Überwachung der Übertragungsqualität eines optischen Übertragungssystems, insbesondere eines optischen Wellenlängenmultiplexnetzes

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung der Übertragungsqualität eines optischen Übertragungssystems, 10 insbesondere eines optischen Wellenlängenmultiplexnetzes, bei welchem ein Amplitudenhistogramm eines über das Übertragungssystem übertragenen optischen Signals (Übertragungssignal) aufgezeichnet und mittels eines Neuronalen Netzes nach Bitfehlerraten und/oder Störungsursachen klassifiziert wird. Die Erfindung vermeidet 15 es, an das Übertragungssystem hinsichtlich Übertragungsmodus, -format und/oder -takt Anforderungen zu stellen, sondern ist an beliebigen Signalen durchführbar. Des Weiteren ermöglicht die Erfindung die Zuordnung zu 20 Störungsursachen, die von einer herkömmlichen Bitraten-Klassifikation nicht erfaßbar sind.

20

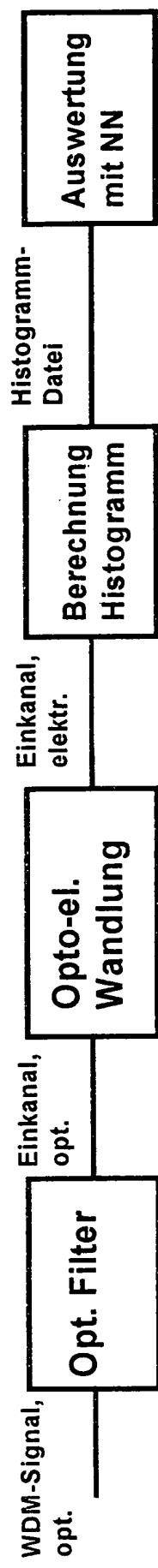


FIG. 1

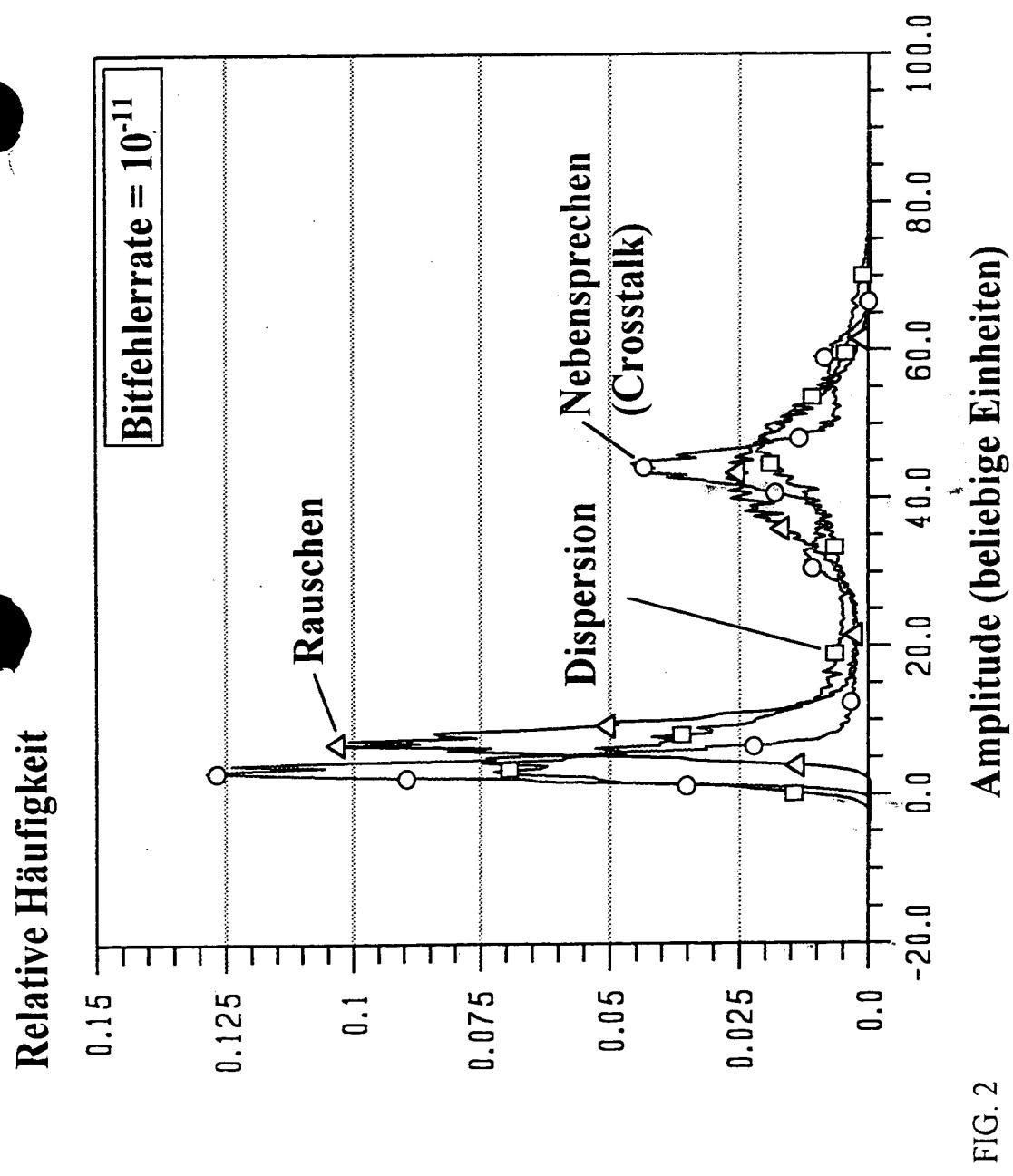


FIG. 2

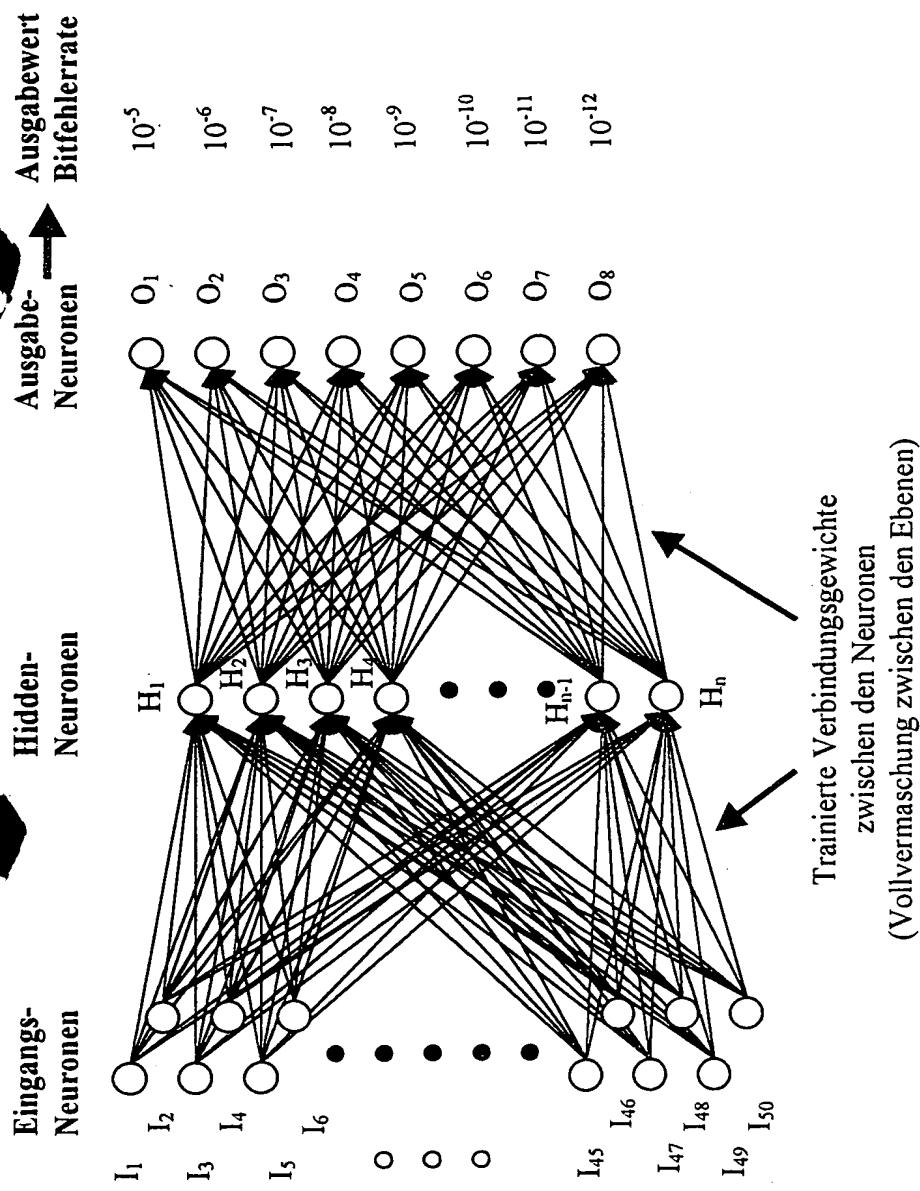


FIG.3

Multi-Layer-Perceptron

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**